1П

УДК 519.237.5

Ю.А. Прокопчук
ИТМ НАН и НКА Украины, Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепропетровск, Украина
itk3@ukr.net

Когнитивное моделирование на основе принципа предельных обобщений: методология, задачи, приложения

Рассмотрены особенности когнитивного моделирования на основе принципа предельных обобщений. Приведены базовые когнитивные структуры и автоматизмы. Сформулирован принцип синдромного управления сложными ситуациями. Рассмотрены вопросы передачи и активизации моделей знаний.

Введение и постановка задачи

Когнитология изначально возникла как научное направление, изучающее познавательные аспекты деятельности, проблемы восприятия, познания и понимания окружающей действительности (cognitive – познавательный), а истоки ее лежат в области философии и психологии [1], [2]. В процессе своего развития когнитивная наука трансформировалась в междисциплинарное научное направление, объединяющее философию (теория познания), когнитивную психологию, нейрофизиологию, антропологию, лингвистику, синергетику и теорию искусственного интеллекта [1-12].

Предпосылкой для бурного развития когнитивного подхода послужила неприменимость точных моделей для анализа и моделирования проблемных ситуаций, возникающих в процессе развития сложных систем, из-за необходимости учета большого числа факторов, многие из которых оказались трудно формализуемыми. Г. Саймон назвал такие задачи слабоструктурированными, подразумевая под этим их качественный характер, трудность формализации и наличие неопределенности.

Сегодня когнитивный подход имеет десятки ракурсов. Наибольшее развитие он получил в психологии, лингвистике, педагогике, истории, социологии, политологии. В настоящее время наблюдается стремительное развитие данного направления в экономике, медицине, адаптивном управлении техническими системами и других областях.

Вместе с тем, несмотря на многочисленные приложения, арсенал формальных средств когнитивного моделирования остается довольно ограниченным. В силу особенностей слабоформализованных предметных областей подходы имитационного моделирования, ориентированные на использование количественных объективных оценок, и методы традиционной теории принятия решений, опирающейся на алгоритмы выбора лучшей альтернативы из множества четко сформулированных альтернатив, оказываются неэффективными. В связи с этим главное внимание уделялось и продолжает уделяться развитию методов поддержки управляющих решений в слабоструктурированных ситуациях на основе когнитивных карт, представляющих собой взвешенный ориентированный граф, в котором вершины соответствуют факторам, в терминах которых описывается предметная область, а дуги отображают непосредственные связи (взаимовлияния) между факторами [4]. К недостаткам методов моделирования на основе когнитивных карт можно отнести слабое развитие средств автоматического анализа прецедентов решения схожих проблем.

Для анализа ряда когнитивных задач подходит метод картирования мышления (Mind Mapping). Интеллект-карты (Mind Maps), или ментальные карты, позволяют графически отображать информацию, например, для того, чтобы генерировать идеи, составлять планы и т.д. [3] (данный подход использован нами для отображения среды радикалов и активности радикалов в виде системопаттернов [11]). Следует также отметить методы психосемантики (например, семантический дифференциал).

Большую роль в познании механизмов мышления и, соответственно, создании новых когнитивных методов играет синергетика как нелинейная наука о сложности. Мозг представляет собой сверхсложную динамическую систему, состоящую из огромного числа нейронов, которые, взаимодействуя между собой каким-то образом на микроуровне и подчиняясь определенным параметрам порядка, порождают некое явление на макроуровне. Синергетика, следовательно, наводит мосты между разными уровнями описания сложных развивающихся систем [6].

Для успешного применения методов и духа синергетики в когнитивном моделировании необходимо определить базовые когнитивные и когнитивно-поведенческие структуры, принципы их кооперативного взаимодействия, зарождения, созревания и разрушения. Необходимо также установить параметры порядка, определяющие физико-когнитивную эволюцию системы к тому или иному аттрактору. Все эти вопросы определенным образом решаются в рамках Принципа предельных обобщений (ППО).

Очень важна способность человека мыслить не только конкретными образами, а еще и категориями – без нее мы вообще не смогли бы функционировать. При этом большей частью процессы категоризации идут автоматически и неосознанно [1]. Категории тесно связаны с метафорами. Более того, наша обыденная понятийная система, в рамках которой мы думаем и действуем, по сути своей метафорична [1]. В рамках ППО метафоры – это, по сути, область закритических описаний действительности, которая определяет многозначность смыслов [7]. Таким образом, то, что мы привычно именуем сознанием, лишь поверхностное проявление более фундаментальной когнитивной способности, имеющей отношение к глубинным пластам человеческой экзистенции.

На наш взгляд, главная проблема развития формальных методов в рамках когнитивного подхода – это отсутствие общей методологии математического моделирования ментальной (субъективной, смысловой) сферы наблюдателя, включая природные механизмы категоризации. Можно надеяться, что разработка даже фрагментов подобной методологии позволит значительно обогатить арсенал формальных средств когнитивного моделирования. Расширение арсенала средств будет способствовать изменению нашего взгляда и на мышление, и на естественный язык, и на науку, и на математику, и на computer science. Как справедливо отмечает М.Б. Менский, если наука хочет изучать явления, непосредственно связанные с человеком, она должна расширить свою методологию и научиться работать с теми данными, которые дает индивидуальное сознание.

Основной **целью настоящего исследования** является разработка базовых фрагментов методологии, позволяющей моделировать переход от физического к феноменологическому описанию действительности, включая естественный (природный) механизм категоризации, а также смысловую сферу наблюдателя. Подобное моделирование позволяет найти новые пути решения следующих важных в прикладном плане когнитивных задач:

– анализ эмпирических данных с целью выявления параметров порядка развития слабоформализованных ситуаций и построения инвариантных моделей знаний;

– анализ особенностей функционирования системы или развития ситуации, взаимодействия всех ее элементов, с целью моделирования управляющих воздействий, реализация которых позволит достичь поставленных целей управления.

Данную работу можно считать продолжением исследований [7-11].

Базовые принципы когнитивного моделирования на основе ППО

Базовых принципов всего два:

– *Принцип предельных обобщений*;

– *Принцип полимодельной дополнительности и конкурентности*.

Суть Принципа предельных обобщений можно выразить следующим образом: среди всех допустимых моделей (решений) следует выбрать модели (решения), которые обладают максимальной общностью. Принцип предельных обобщений позволяет на уровне моделей выразить сложность субъективной реальности через непрерывное взаимодействие относительно простых структур с использованием автоматизмов среды. Основная гипотеза состоит в том, что Принцип предельных обобщений олицетворяет «встроенную» *оптимальность мышления* [10].

Во втором принципе проявляется феномен полимодельности научного познания, а также принцип «перекрестного опыления идеями». Синергетический эффект использования разных моделей составляет основу для глубинной интеграции знаний сложных ИС.

Несмотря на важность каждого принципа в отдельности главный смысл развиваемой методологии заключается в их глубинной взаимосвязи, что позволяет создавать самоорганизующиеся ИС, которые способны сохранять и улучшать свои параметры в процессе функционирования путем самообучения и самоорганизации на основе внутренней активности системы.

Концептуальный гештальт «полимодельного резонанса», используемый в качестве логико-методологической основы взаимодействия различных «точек зрения», позволил сформировать новый подход, нацеленный не на отбрасывание тех или иных моделей (непрерывных, дискретных, интервальных, нечетких, лингвистических, фрактальных, грануляционных, агентных, нейросетевых и т.д.), а на превращение их в рациональные конструкты посредством выяснения смыслообразующих интервалов и границ применимости в зависимости от природы используемых познавательных средств и процедур.

В такой идейный контекст вписывается представление о конкурирующих концепциях (моделях знаний) как своеобразных «предельных структурах» многомерного объекта исследования, отражающих различные его стороны, которые проявляются в разных условиях (в этом плане имеется сходство с химической теорией резонанса и ее набором так называемых «предельных структур») [5].

Суть принципа когнитивного резонанса, следовательно, состоит в том, что когнитивная репрезентация образа (ситуации действительности, феномена) на определенном уровне общности, для которого формируются несколько набросков (на заданном уровне-слое), не может быть правильно изображена ни одним из этих отдельно взятых набросков (предельных структур), а только их набором. Качественная картина когнитивной репрезентации описывается суперпозицией предельных структур [8], [10].

К числу важнейших автоматизмов вычислительной среды (вычислительного интеллекта) относятся процессы когнитивной самоорганизующейся критичности в рамках метода предельных обобщений [7] и орграфа набросков образа [11].

Базовые когнитивные структуры

В основе развиваемых моделей (онтологии субъективной реальности) лежат два взаимосвязанных базовых информационных объекта – *элементарный тест* и *динамический системопаттерн* (или сокращенно – *системопаттерн*). Моделью элементарного теста является орграф доменов (домен – множество значений теста).

Формальная модель системопаттерна представима в виде: f/μ: $k^1 \to k^2$, где f/μ – некоторое отображение (морфизм), в котором μ – механизм реализации отображения; k^1 – исходные данные или состояние; k^2 – требуемые данные или состояние (цели и критерии). Механизм μ отвечает за системность, так как он привлекает все виды ресурсов для реализации отображения, включая поиск необходимых исходных данных (при необходимости). С помощью системопаттернов описываются любые преобразования, движения информации, материи или энергии. Другими словами, любые реальные или предполагаемые изменения действительности, включая субъективные переживания (феноменологический уровень). Дадим развернутые описания базовых объектов [10].

Пусть $\{\tau\}$ – множество элементарных тестов, с помощью которых описывается любая ситуация действительности. Элементарность теста означает, что его результат может быть представлен в виде «тест = значение». Конкретный результат теста τ будем обозначать $\underline{\tau}$. Значения тестов могут выбираться из разных доменов. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T, будем использовать нотацию: τ/T. Используя разные домены, можно управлять общностью (масштабом) результата одного и того же теста. Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задает *ориентированный граф доменов:* $G(\tau) = \{T \to T'\}_{\tau}$. Банк тестов представляет собой множество орграфов доменов тестов, т.е. $\{G(\tau)\}$. От развитости банка тестов $\{G(\tau)\}$ зависят инвариантные свойства предельных моделей знаний. Разные домены тестов формируют разные по уровню общности *описания действительности*, которые обозначим через $\{\tau/T\}$.

На основе любого орграфа доменов с помощью автоматизмов среды могут быть построены структурно-завершенные орграфы [10]. На рис. 1 показаны структурно-завершенные орграфы теста «Сигнал ошибки».

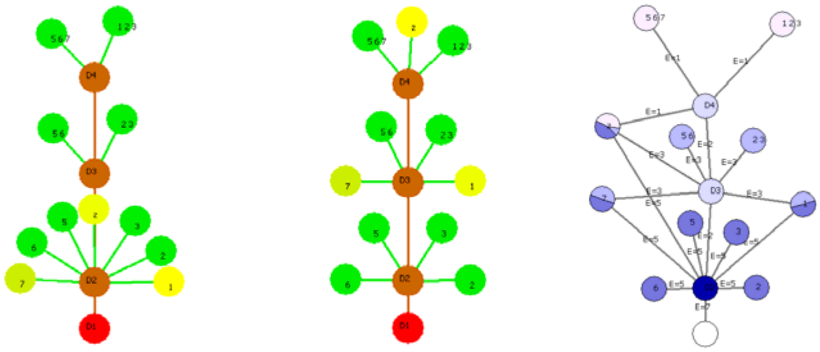


Рисунок 1 – Структурно-завершенные орграфы для теста «Сигнал ошибки»

Орграфы доменов и структурно-завершенные орграфы реализуют базовые *автоматизмы* вычислительной среды. В общем случае, вместо любой переменной и любого параметра модели вводится элементарный тест, задаваемый орграфом доменов. В частности, вместо $x \in R^n$ пишем $\{x/X\}$, где X – орграфы доменов. В результате такой замены каждый тест порождает новую степень свободы (можно говорить об облаке степеней свободы) и, следовательно, новые возможности для оптимизации вычислительных траекторий (синергизма).

Орграфы доменов тестов – это не только набор эмпирических аксиом, но также и набор операций (непрерывных, интервальных, нечетких, сетевых, лингвистических, фрактальных), которые можно производить со значениями тестов разного уровня общности (разных сортов). Данный набор операций реализует все многообразие математических методов обработки данных.

Для детализации моделей знаний на основе системопаттернов обозначим элементарные тесты через $\{a/A\}$, где A – домены. Пусть $W(\{c/C\})$ – некоторое многообразие на множестве результатов тестов $\{c/C\}$. Модель знаний k на основе системопаттернов представим в виде:

$$k = \{f/\mu\colon \{J_b\ b/B\} \to \{J_a\ a/A\},\ \text{для } \{\underline{c}/C\} \in W_f(\{c/C\}),\ \mu \in \{\mu\}_f\} \cup P_k. \tag{1}$$

где f/μ – паттерны, реализующие те или иные математические модели; J – оператор оценки истинности значения теста. Паттерны вида (1) с успехом могут быть реализованы на основе нейросетей.

Поле импульсов (направления развития системы или ситуации) можно определить так:

$$Imp\colon \{J_a\ \underline{a}/A\},\ \underline{e}/E \to \{b/B\}, \tag{2}$$

где $\underline{e}/E$ – энергия импульса, включая мотивацию. Импульсы задают потоки энергии и информации в модельно-параметрическом пространстве, а также формируют характеристические направления, в рамках которых возникают хаотические ансамбли структур и протоструктур (протодоменов, прототестов, протопаттернов и т.д.) [9].

Обозначим через α_s произвольный набросок ситуации действительности α. Причем $\alpha \in \{\alpha_s\}$. Объем информации, содержащийся в наброске α_s, обозначим $|\alpha_s|$. Выполняется соотношение: $\forall\alpha_s \neq \alpha$, $|\alpha_s| < |\alpha|$. Пусть $\{F\}$ – фиксированное множество сжимающих отображений таких, что любой набросок α_s получается из α в результате последовательного применения серии отображений из $\{F\}$. Можно записать: $\alpha_s = F^{\nu}(\cdots F^{1}(\alpha)) = F^{(\nu)}(\alpha)$. К каждому наброску делается попытка применить все отображения из $\{F\}$. Если набросок α_s содержит в себе важнейшие черты ситуации α, то данный факт отобразим нотацией $\alpha_s \nabla \alpha$. Собственно говоря, наброски отличаются друг от друга степенью детализации описания важных черт ситуации α.

Орграфом набросков произвольной ситуации действительности α назовем структуру следующего вида [10]:

$$Gs(\alpha) = \cup_{\nu}\ \{\alpha_s |\ \alpha_s = F^{(\nu)}(\alpha)\ \ \&\ \alpha_s \nabla \alpha\} = \cup_{\nu}\ Gs_{\nu}(\alpha), \tag{3}$$

где $Gs_{\nu}(\alpha)$ – ν-й слой набросков ($\nu = 0, 1,\ldots, K_{\alpha}$). Число слоев K_{α} является константой ситуации α (при фиксированном множестве отображений $\{F\}$).

Построение орграфа набросков – высшая ступень превращения сложного в простое, умения выделять существенное. Это результат глубокого проникновения в ситуацию и постижения главного в ней, решающего, того, что определяет ход событий. Процедура построения $Gs(\alpha)$ в полной мере реализует принцип полимодельной дополнительности и конкуренции. Отображения множества $\{F\}$ могут быть реализованы экспертами, нейроморфной средой, мультиагентной средой и т.д. Особенно важный случай представляет множество $\{F\}$, которое можно отнести к автоматизмам вычислительной среды (вычислительного интеллекта) [10].

Орграфы доменов тестов и орграфы набросков лежат в основе перехода от физического к феноменологическому описанию действительности.

Пусть $\Omega = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$ – множество ситуаций действительности с известными исходами $z \in Z = \{1,\ldots, N\}$. В качестве исходов могут выступать диагнозы, прогнозы, варианты управления. Будем говорить, что база прецедентов Ω не содержит *конфликтов* на уровне общности $\{\tau/T\}$, если нет двух ситуаций с разными исходами, но совпадающими значениями тестов. Предполагается, что первоначально все прецеденты α описаны с использованием максимально точных доменов (базовых доменов) всех тестов.

На основе базы прецедентов Ω и банка тестов $\{G(\tau)\}$ метод предельных обобщений позволяет найти все *критические описания* базы прецедентов (критические наброски). Критические описания не содержат конфликтов, но попытка обобщения по любому тесту

критического описания приводит к появлению конфликтов. В совокупности критические описания образуют экстремальный пограничный слой описаний-набросков. Этот слой является границей между порядком (однозначным решением целевой задачи) и хаосом – конфликтными решениями.

Экстремальным пограничным слоем набросков в контексте Z для ситуации $\alpha(z)$ на множестве прецедентов $\Omega(Z)$ назовем множество набросков [10]

$$\mathrm{M}_{\alpha}(Z) = \{\alpha_s \mid (\alpha_s \nabla \alpha(z)) \ \& \ (\forall F \in \{F\}, \neg(F(\alpha_s) \nabla \alpha(z)))\}. \quad (4)$$

В данном определении оператор (∇) существенно зависит от $\Omega(Z)$. Изменение контекста Z приведет к изменению состава пограничного слоя. Модели знаний строятся для всех критических набросков, формируя конкурентную среду [7]. На рис. 2 приведен пример орграфа набросков с экстремальным слоем (исходная ситуация – верхняя вершина; пограничный слой – темные средние – синие – вершины; концевые – красная и зеленые вершины – финитные наброски).

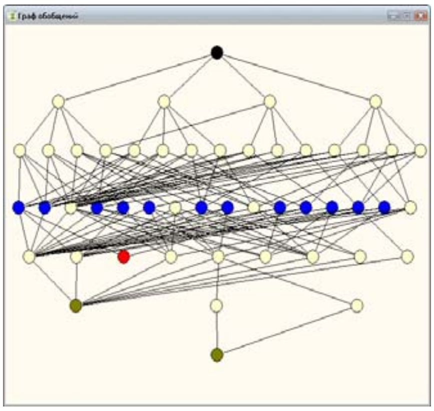


Рисунок 2 – Пример орграфа набросков

Пусть $\{\pi\}_{\alpha}$ – это параметры порядка, детерминанты, предельные смыслы, когнитивные инварианты (каноны, стереотипы и т.д.), принципы, исследовательская программа, которые функционируют как внутренние регуляторные механизмы, воздействующие на протекание самих процессов деятельности и познания ситуации действительности. Параметры $\{\pi\}$ выступают в качестве «среды», в которую погружен исследователь и посредством которой он вступает в контакт с открываемой и создаваемой им естественной и искусственной реальностью.

Произвольную ситуацию действительности можно описать так:

$$\alpha = \alpha(\{<J_{\tau}\ \underline{\tau}/T,\ \{J_p\ \underline{p}/P\},\ J_t\ \underline{t}/\Lambda>\};\ \{f/\mu\colon \{J_b\ \underline{b}/B\} \rightarrow \{J_a\ \underline{a}/A\}\}_{\alpha} \cup P_k; \quad (5)$$
$$\{Imp\colon \{J_a\ \underline{a}/A\},\ \underline{e}/E \rightarrow \{b/B\}\};\ \{Str(\{\underline{\tau}/T\})\},\ \{Gs(\alpha)\},\ \mathrm{M}_{\alpha}(Z),\ \{\pi\}_{\alpha}),$$

где $\underline{t}/\Lambda$ – тест «Время», а конструкция $<J_{\tau}\ \underline{\tau}/T,\ \{J_p\ \underline{p}/P\},\ J_t\ \underline{t}/\Lambda>$ описывает произвольное событие; $\{Str(\{\underline{\tau}/T\})\}$ – производные когнитивные структуры.

Модели (1) – (5) совместно с Банком тестов $\{G(\tau)\}$ и автоматизмами вычислительной среды реализуют требуемый полимодельный комплекс.

Под *формальным синдромом* будем понимать неизбыточную совокупность значений тестов, позволяющую однозначно установить заключение (в такой трактовке формальные синдромы отличаются от синдромов в медицине). В дальнейшем формальный синдром будем называть просто синдромом. Произвольный синдром представим в виде:

$$S_{ij} = (\{\underline{\tau}/T\}_{ij} \rightarrow z_i), \quad \upsilon(S_{ij}), \quad (6)$$

где $\{\underline{\tau}/T\}_{ij}$ – значения тестов; z_i – заключение ($z_i \in Z$); $\upsilon(S_{ij})$ – вес синдрома.

Совокупность синдромов какого-либо описания образует *синдромную модель знаний*, если она позволяет определить заключение для любой ситуации действительности из Ω. Модель знаний является *полной*, если она содержит все возможные синдромы. Синдромная модель знаний *минимальна*, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из Ω. Полные и минимальные (оптимальные) синдромные модели знаний любых описаний, в том числе критических описаний, формируются с помощью метода предельных обобщений. Наибольший интерес представляют синдромные модели знаний критических описаний, поэтому в дальнейшем будем иметь в виду именно эти модели.

Вероятностной закономерностью появления заключения $\underline{z}/Z$ назовем правило вида

$$R = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \underline{z}/Z),\quad p(R) \geq p^*,\ \upsilon_R = \upsilon(R), \tag{7}$$

где $\{\underline{\tau}/T\}$ – неизбыточная совокупность значений тестов; $p(R)$ – ранг или вероятность получения заключения $\underline{z}/Z$ при условии $\{\underline{\tau}/T\}$; p^* – порог (например, 0,9); υ_R – вес правила, пропорциональный количеству прецедентов с заключением $\underline{z}/Z$, отвечающих правилу R. Вероятностную закономерность нельзя редуцировать с сохранением ранга. Формальный синдром – это вероятностная закономерность ранга 1, так как заключение определяется однозначно. Синдром нельзя усилить и нельзя редуцировать.

Предельной вероятностной закономерностью назовем вероятностную закономерность, которую нельзя обобщить ни по одному тесту с сохранением ранга. Предельную вероятностную закономерность ранга 1 назовем *предельным синдромом*. Предельный синдром является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту. Другими словами, любой предельный синдром претендует на роль *инварианта* модели $<\Omega, \{G(\tau)\}>$.

Таким образом, с каждым синдромом связано «облако» предельных синдромов, которое получается путем всех допустимых обобщений. Это «облако» определяется единственным образом. Следовательно, любой синдромной модели знаний соответствует единственная *предельная синдромная модель знаний*, образующаяся путем объединения множеств предельных синдромов, соответствующих синдромам исходной модели.

Можно найти все синдромы и, следовательно, предельные синдромы для каждой ситуации $\alpha \in \Omega$. Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* на $<\Omega, \{G(\tau)\}>$. Такая модель строится на основе экстремальных пограничных слоев орграфов набросков ситуаций $\alpha \in \Omega$.

Рассмотрим вопрос о связи синдромов с параметрами порядка развития ситуаций. Под параметрами порядка в синергетике понимаются управляющие параметры, которые подчиняют себе все другие параметры и определяют качественное поведение системы [6]. Таким образом, синергетика фокусирует свое внимание на тех ситуациях, в которых поведение системы изменяется качественно при изменении управляющих параметров.

Предельные синдромы, претендующие на статус инвариантов (с большими весами), можно рассматривать в качестве параметров порядка развития сложных ситуаций. Действительно, смена одного предельного синдрома другим может привести к качественному изменению поведения системы или ситуации, которое вызвано сменой заключения $\underline{z}/Z$. Что касается синдромов в целом, то, к сожалению, синдромы даже критических описаний, как правило, не являются предельными синдромами, но, тем не менее, их смена также может привести к качественному изменению поведения системы. Можно считать, что такие синдромы формируют предпараметры порядка. Наличие разных синдромов предопределяет конкуренцию параметров порядка [6].

Факт возможности смены качественного поведения системы путем целенаправленного изменения текущих синдромов лежит в основе синдромного принципа управления.

Синдромный принцип управления слабоформализованными системами

Как было отмечено выше, синдромный принцип управления можно отождествить с целенаправленным изменением управляющих параметров или параметров порядка. Параметры порядка содержатся в синдромах – это значения тестов $\{\underline{\tau}/T\}_{ij}$.

Эволюцию (динамику) сложной системы или ситуации на одном из высоких уровней общности можно описать как последовательную смену множеств синдромов. Другими словами, *состояние системы* в момент времени t – это множество синдромов в момент времени t, т.е. $\{S\}_t$, причем все синдромы из $\{S\}_t$ указывают на одно и то же заключение z (требование непротиворечивости состояния). Траектория – это последовательность состояний. В процессе эволюции состав синдромов может изменяться без изменения z, а может скачком изменяться и z. На максимальном уровне обобщения траекторию можно описывать последовательностью изменений заключений z. Изменение состава синдромов в состоянии может производиться целенаправленно – назовем это управлением, а может спонтанно, например, в результате действия естественных процессов деградации (старения) или импульсного воздействия дестабилизирующих внешних факторов.

Пусть $S = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \underline{z}/Z)$ – произвольный синдром. Ограничим для простоты изложения множество Z двумя заключениями: z_1 – благоприятное и z_2 – неблагоприятное. Множество значений тестов $\{\underline{\tau}/T\}$ может включать в себя факты, т.е. такие значения тестов, которые по каким-либо причинам изменить нельзя, например, значение теста «Пол» (важной причиной является нехватка ресурсов – финансов, времени и т.д.). Если синдром опирается только на факты, то такой синдром назовем *фатальным*. Наличие фатального синдрома в состоянии приводит к невозможности изменения качества процесса, т.е. заключения. Если фатальных синдромов нет, то управление в принципе возможно.

Суть синдромного управления, следовательно, состоит в целенаправленном изменении значений некоторых тестов, не являющихся фактами, с тем, чтобы обеспечить либо стабилизацию состояния (для z_1), либо устранение нежелательных синдромов и появление желательных, отвечающих z_1. Само управление можно представить в виде:

$$U = \{\underline{\tau}/T \rightarrow \underline{\tau}'/T\}, \quad (8)$$

где $\{\underline{\tau}/T\}$ характеризуют текущие значения тестов, а $\{\underline{\tau}'/T\}$ – целевые значения.

Синдромное управление существенным образом опирается на синергетический принцип подчинения: изменение параметров порядка $\{\underline{\tau}\}$ приведет к изменению подчиненных параметров $\{\underline{\tau}\}'$.

Стратегия стабилизации и закрепления благоприятной эволюции может заключаться в стремлении увеличить число благоприятных синдромов. Общее число таких синдромов дает метод предельных обобщений в сочетании с методом выделения групп синдромов по признаку сочетаемости. Подобное увеличение можно интерпретировать как повышение гарантии благоприятной эволюции. Если увеличить число благоприятных синдромов не удается, то необходимо стремиться максимально замедлить процесс деградации – постепенного исчезновения благоприятных синдромов. Неуправляемое изменение состава синдромов происходит в результате естественной эволюции саморазвивающейся сложной системы: $\{\underline{\tau}/T \rightarrow \underline{\tau}''/T\}$.

Если текущее состояние неблагоприятное (z_2), то необходимо выбрать в качестве цели один из достижимых благоприятных синдромов (если таковые имеются) и реализовать управление U, т.е. обеспечить целевое изменение значений тестов. Разные достижимые синдромы дают разные варианты (альтернативы) управления. Выбор того или

иного варианта – это многокритериальная задача, которая может решаться стандартными средствами. Следует отметить, что достижимость синдрома может существенно зависеть от мотивации того, кто будет осуществлять непосредственное управление, поэтому потенциальная достижимость еще не означает реальной достижимости (мотивация – это субъективное отношение индивидуума к его физическому состоянию, которое каким-то образом модулирует генерацию действий, пока не будет достигнут оптимум). Это необходимо учитывать. Следует выбирать такие целевые синдромы, достижимость которых меньше всего зависит от мотивации. Здесь уместно говорить об *устойчивости* процесса управления. Чем более достижимость цели зависит от мотивации, тем процесс менее устойчив.

Важно также не просто достичь целевого синдрома, но удовлетворить при этом определенные (динамические) ограничения, например, на время. В каждый такт управления необходимо проверять выполнимость ограничений.

Наличие потенциально достижимых синдромов будем отождествлять с потенциальной *управляемостью* системы (или ситуации). Множество достижимых синдромов задает структуру множества достижимых состояний.

Для детализации синдромного управления можно использовать, например, иерархическое планирование, когда действия абстрактного плана высокого уровня конкретизируются более детальными планами нижнего уровня. *Подпланом* назовем достижение целевого значения какого-либо теста из синдрома. Реализация подплана монотонна, если последовательно достигаются все промежуточные значения теста (без возвратов). В противном случае реализация подплана немонотонна.

Синдромное управление реализует *частично упорядоченное* (или монотонное) планирование, когда план строится на основе частично упорядоченного множества подпланов. При этом общий план (элементами которого являются подпланы), обязан быть монотонным, а каждый из подпланов может быть немонотонным (монотонность – это такое свойство плана, когда каждое его действие уменьшает различия между текущим состоянием и целью поведения).

Оценка состояния на основе синдромов может оказаться несколько грубоватой для анализа реальной динамики. Действительно, синдромы, как правило, опираются на значения тестов достаточно высокого уровня и эти уровни могут быть нечувствительны к изменениям на базовом и близких к нему уровнях. Модель ситуации (5) позволяет сколь угодно точно детализировать описание состояния сложной системы.

Обучение и передача знаний

Для поиска инвариантной синдромной модели знаний нужен достаточно мощный банк тестов и богатый опыт – $<\Omega, \{G(\tau)\}>$. Примеры разветвленных орграфов доменов показаны на рис. 1. Предположим, что удовлетворительная синдромная модель знаний получена, обозначим ее через $\{S_{ij}\}$.

Пусть требуется модель знаний $\{S_{ij}\}$ передать другим наблюдателям (агентам). Сложностей с передачей не возникает, если агентам вместе с моделью знаний передается также банк тестов $\{G(\tau)\}$. Однако передача полного банка тестов может быть нецелесообразна по многим причинам и одна из них – это очевидная избыточность передаваемой информации. Действительно, в определении синдромов модели знаний $\{S_{ij}\}$ из каждого орграфа доменов $G(\tau)$ участвует только один домен, который обозначим через T_τ. Справедливы следующие предложения.

Предложение 1. Любой банк тестов $\{G'(\tau) \mid T_\tau \in G'(\tau)$ и $G'(\tau) \subseteq G(\tau)\}$ порождает синдромную модель знаний $\{S_{ij}\}$ на множестве прецедентов Ω.

Предложение 2. Если для описания ситуации действительности используются домены банка тестов $\{G'(\tau)\}$, то для использования модели знаний $\{S_{ij}\}$ новым агентам достаточно передать банк тестов $\{G'(\tau)\}$.

Для любого теста τ построим орграф $G''(\tau) = T_{0\tau} \rightarrow T_{\tau}$., где $T_{0\tau}$ – базовый домен орграфа доменов $G(\tau)$. Скорее всего, $G''(\tau) \not\subset G(\tau)$.

Предложение 3. Банк тестов $\{G''(\tau)\}$ порождает синдромную модель знаний $\{S_{ij}\}$ на множестве прецедентов Ω.

Предложение 4. Если для описания ситуации действительности используются домены банка тестов $\{G''(\tau)\}$, то для использования модели знаний $\{S_{ij}\}$ новым агентам достаточно передать банк тестов $\{G''(\tau)\}$.

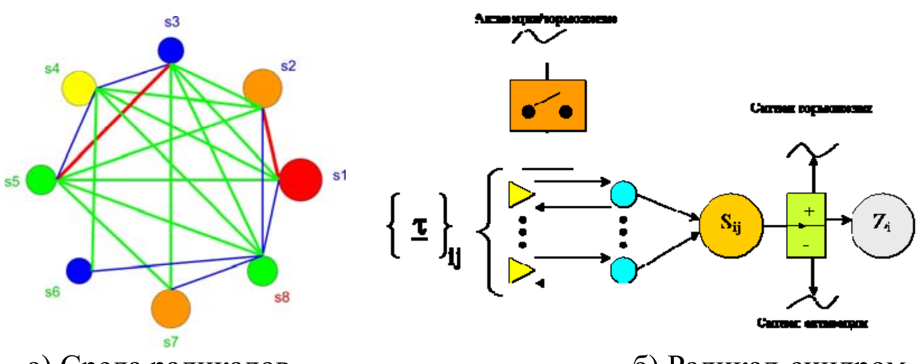
Таким образом, «Все гениальное – просто!». Для того чтобы найти истинную модель знаний, требуются большой опыт и мощный банк тестов, что эквивалентно значительному профессиональному опыту. Однако после того как решение найдено, оно становится почти очевидным: для применения решения достаточно использовать примитивный банк тестов и простую по структуре синдромную модель знаний.

Ультраоснащение моделей знаний

Задачи активизации синдромных моделей знаний включают в себя: 1) разработку архитектуры и способа построения нейронного ансамбля, реализующего произвольный синдром и обеспечивающего распределенный обмен информацией в рамках нейроморфной сети; 2) разработку архитектуры нейроморфной сети, реализующей синдромную модель знаний. Эти и другие задачи рассмотрены в работе [11].

Синдромный подход обеспечивает логическую прозрачность конструируемой нейроморфной сети, а оформление сети в виде среды радикалов или агентов является основой самоорганизации (агенты обладают большей функциональностью).

Под *радикалом* понимается любая функциональная система, имеющая два доступных извне состояния: АКТИВНОЕ и ПАССИВНОЕ [12]. Активный радикал функционирует, согласно своему предназначению, а пассивный радикал нет. Он как бы выключен. Множество радикалов со связями между собой является *средой радикалов* (СР). Вопросами активирования среды радикалов занимаются системы, которые называются *активаторы*. Активаторы должны содержать средства активации, регуляции, анализа и синтеза среды радикалов. Система всех активных радикалов среды радикалов в данный момент времени образует *системоквант*, который определяет квант поведения среды в этот момент. Операция построения среды радикалов для синдромной модели знаний называется *ультраоснащением модели знаний*. На рис. 3 показан пример СР, построенной для синдромной модели знаний [11].



а) Среда радикалов б) Радикал-синдром

Рисунок 3 – Реализация синдромной модели знаний в виде среды радикалов

Каждый радикал (нейронный ансамбль) представлен на рис. 3 а) закрашенным кругом. Размер и цвет круга соответствуют весу синдрома. Связь (проводимость) между радикалами отражает степень пересечения множеств тестов, фигурирующих в каждом синдроме. Максимальная проводимость равна «1» (на рис. 3 связь изображена красным цветом). Чем выше проводимость, тем выше приоритет активации синдрома. Связи между синдромами могут быть симметричны и асимметричны.

Активность среды радикалов в процессе решения целевой задачи для нового прецедента зависит от выбранного сценария. Сценарии различаются, в частности, порядком применения некоторых критериев оптимальности, а также допустимой мощностью системоквантов. В общем случае у любой СР есть свой запускающий радикал. В результате получаем СР более высокого уровня с похожим принципом функционирования. Данную схему можно продолжить. В итоге получаем иерархию СР с все возрастающим уровнем общности задач.

Заключение

Предлагаемая технология когнитивного моделирования обеспечивает: расширение традиционных подходов к обработке информации в сложных динамических средах, дополнение их новыми методами, моделями и алгоритмами поддержки принятия решений по управлению динамическими ситуациями (объектами, процессами) в сложной обстановке; учет множественности «точек зрения», многокачественности, многоаспектности, неопределенности и неполноты исходной информации при контроле и управлении динамическими ситуациями.

Литература

1. Лакофф Джордж. Женщины, огонь и опасные вещи: Что категории языка говорят нам о мышлении / Лакофф Джордж ; пер. с англ. И.Б. Шатуновского. – М. : Языки славянской культуры, 2004. – 792 с.
2. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания : в 2 т. / Величковский Б.М. – М. : Смысл: Издательский центр «Академия», 2006. – Т. 1. – 448 с.
3. Мюллер Х. Составление ментальных карт. Метод генерации и структурирования идей / Мюллер Х. – Москва : Издательство ОМЕГА-Л, 2007. – 128 с.
4. Авдеева З.К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко // UBS. – 2007. – № 16 – С. 26-39.
5. Дрюк М.А. Химическая теория резонанса и проблемы формирования философской рациональности нового типа / Дрюк М.А. – М. : Изд-во РУДН, 2003. – 181 с.
6. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Хакен Г. ; пер. с англ. – М. : КомКнига, 2005. – 248 с. – (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему»).
7. Прокопчук Ю.А. Метод предельных обобщений для решения слабо формализованных задач / Ю.А. Прокопчук // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 1. – С. 31-39.
8. Prokopchuk Iu. Model of Multilevel Pattern Sketches / Iu. Prokopchuk // Proceedings of 3rd International Conference on Inductive Modelling (17 – 22 May, 2010, Yevpatoria, Ukraine). – Kyiv : IRTC ITS, 2010. – P. 51-54.
9. Прокопчук Ю.А. Модели структур виртуальной сплошной среды когнитивных динамических систем / Ю.А. Прокопчук // Сборник трудов «Нейроинформатика-2011». Ч. I. – М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 254-263.
10. Прокопчук Ю.А. Методология разработки интеллектуальных приложений на основе принципа предельных обобщений / Ю.А. Прокопчук // Вестник Херсонского НТУ. – 2011. – № 2(41). – С. 32-43.
11. Прокопчук Ю.А. Построение логически прозрачной нейроморфной сети на основе метода предельных обобщений / Ю.А. Прокопчук, Т.П. Яровая // Збірник наукових праць міжнародної конференції [«Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту»], (Євпаторія, 16 – 20 травня 2011 р.). – Херсон : ХНТУ, 2011. – Том 1. – С. 296-300.
12. Чечкин А.В. Радикалы и системокванты интеллектуальных систем // Моделирование функциональных систем / А.В. Чечкин. – М. : ЗАО «РИТ-Экспресс», 2000. – С. 73-94.

Literatura

1. Lakoff Dzhordzh. Zhenshhiny, ogon' i opasnye veshhi: Chto kategorii jazyka govorjat nam o myshlenii. M.: Jazyki slavjanskoj kul'tury. 2004. 792 s.
2. Velichkovskij B.M. Kognitivnaja nauka: Osnovy psihologii poznanija: v 2 t. M.: Smysl: Izdatel'skij centr “Akademija”. 2006. T. 1. 448 s.
3. Mjuller H. Sostavlenie mental'nyh kart. Metod generacii i strukturirovanija idej. Izdatel'stvo: OMEGA-L. 2007. 128 s.
4. Avdeeva Z. K. UBS 16. 2007. S. 26-39.
5. Drjuk M.A. Himicheskaja teorija rezonansa i problemy formirovanija filosofskoj racional'nosti novogo tipa. M.: Izd. RUDN. 2003. 181 s.
6. Haken G. Informacija i samoorganizacija. Makroskopicheskij podhod k slozhnym sistemam. M.: KomKniga. 2005. 248 s.
7. Prokopchuk Ju.A. Upravljajushhie sistemy i mashiny. 2009. № 1. S. 31-39.
8. Prokopchuk Iu. Proceedings of 3rd International Conference on Inductive Modelling. 17-22 May, 2010. Yevpatoria, Ukraine. Kyiv: IRTC ITS. 2010. P. 51 -54.
9. Prokopchuk Ju.A. “Sbornik trudov Nejroinformatika -2011”. Ch I. M.:NIJaU MIFI. 2011. S. 254-263.
10. Prokopchuk Ju.A. Vestnik Hersonskogo NTU. 2011. № 2 (41). S. 32-43.
11. Prokopchuk Ju.A. Zbirnyk naukovih prac' mizhnarodnoi konferencii “Intelektual'ni sistemy prijnjattja rishen' i problemy obchisljuval'nogo intelektu”. Yevpatorija. 16-20 travnja 2011.Tom 1. Herson: HNTU. 2011. S. 296-300.
12. Chechkin A.V. Modelirovanie funkcional'nyh sistem. M.: ZAO “RIT-Jekspress”. 2000. S. 73.

Ю.О. Прокопчук

Когнітивне моделювання на основі принципу граничних узагальнень: методологія, задачі, застосування

Розглянуто особливості когнітивного моделювання на основі принципу граничних узагальнень. Наведено базові когнітивні структури та автоматизми. Сформульовано принцип синдромного керування складними ситуаціями. Розглянуто питання передачі та активізації моделей знань.

J.O. Prokopchuk

Cognitive Modelling Based on the Principle of Limiting Generalizations: Methodology, Objectives, and Applications

The features of cognitive modelling based on the principle of limiting generalizations are considered. Basic cognitive structures and automatisms are presented. The principle of syndrome control of complex situations is formulated. Issues of knowledge model transfer and its activation are discussed.

Статья поступила в редакцию 25.06.2011.